

神府- 东胜煤田采煤塌陷区塌陷强度与风沙蚀积量相关分析

赵国平^{1,2}, 左合君¹, 胡春元¹, 贺晓¹, 李海光¹

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 陕西省治沙研究所, 陕西 榆林 719000)

摘 要:以神府- 东胜煤田补连塔矿风沙区为例, 通过野外系统观测, 以非塌陷区为对照研究了不同塌陷年限 T2004 年塌陷区和 T2005 年塌陷区塌陷强度、区域风沙蚀积量和蚀积强度变化, 分析了不同塌陷强度的单体沙丘在植被盖度约为 10% 时, 塌陷强度与区域风沙蚀积量的相关关系。结果表明: 采煤塌陷后, 区域风沙蚀积量受起沙风($\geq 5\text{ m/s}$) 频率、塌陷强度和地表结构等因素的影响最为明显。
关键词:矿区; 区域风蚀量; 蚀积强度; 塌陷强度
中图分类号: X752; S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2007)06-0177-04

Correlation Analysis Between Regional Aeolian Sand Subsidence Intensity and Deposition in Shenfu-Dongsheng Coal Field

ZHAO Guo-ping^{1,2}, ZUO He-jun¹, HU Chun-yuan¹, HE Xiao¹, LI Hai-guang¹

(1. Inner Mongolia Agriculture University, Research Institute for Sand Control, Huhhot 010019, China;
2. Shaanxi Province Research Institute for Sand Control, Yulin, Shaanxi 710009, China)

Abstract: Taking Bulianta aeolia desert area of Shengfu-Dongsheng coal filed as an example, the subsidence intensity of T2004 and T2005 subsided area, regional aeolian corrosive accumulation and corrosive intensity are studied in comparison with non-subsided area, as well as the single sand dune under the vegetation cover of 10% and different subsidence intensity, the correlation analysis is made about the subsidence intensity and regional aeolian corrosive accumulation. The result shows that subsidence occurs after mining, the regional corrosive accumulation is greatly influenced by windy frequency ($\geq 5\text{ m/s}$), subsidence intensity and surface structure.
Key words: mineral area; regional aeolian erosive quantity; intensity of erosive accumulation; subsidence intensity

神东矿区补连塔矿风沙区线性沙丘约占整个矿区的 50%^[1], 采煤塌陷后线性沙丘表面形态发生了很大的变化, 流线型输沙断面被截断, 风沙蚀积量也产生了相应的变化, 但是, 这种变化不是一成不变的。初步观测发现, 随着塌陷时间的推进, 风沙流填埋塌陷裂缝会使沙丘表面流线型输沙断面逐步恢复, 风沙流运动也逐渐恢复到塌陷前的状况。目前关于线形沙丘表面蚀积状态与风沙运动规律的研究已有大量成果, 但是采煤塌陷后塌陷形式与沙丘表面蚀积强度的关系、塌陷年限与蚀积强度的关系、塌陷强度与蚀积量的关系等系统研究尚未见报道, 本文通过对补连塔矿塌陷区线性沙丘蚀积量的观测, 重点分析采煤塌陷后沙丘形态恢复过程中不同时段蚀积强度与地表结构的关系, 为塌陷区生态恢复提供依据。

1 研究区概况

神东矿区位于我国北方干旱半干旱区, 地理坐标位于 E109°45′-110°40′, N38°50′-39°50′, 占据鄂尔多斯市伊金霍洛旗乌兰木伦镇、上弯镇和陕西省神木县大柳塔镇、店塔镇的大部分地区。由于长期不合理的土地利用再加上自然环境条件的影响, 引起强烈的现代荒漠化过程, 导致固定沙丘活化、流沙蔓延^[3]。20 世纪 80 年代以来, 国家重要的煤

炭基地- 神东煤矿建成, 但是, 补连塔矿以西是强度荒漠化土地分布区(图 1)。其中流动沙丘区占总土地面积的 16%, 流沙覆盖率 75% 以上, 地表形态以高大新月形沙丘链、格状沙丘链和沙垄为主, 高度 16~28 m, 天然植物覆盖度 0.5%~1%, 光秃裸露的沙丘, 在风力作用下向前移动, 使沙漠化土地不断扩张, 同时也影响了煤业生产的正常进行^[2]。

大地构造属于华北地台的鄂尔多斯台向斜, 主要地层有含煤层系侏罗系、白垩系泥岩、沉积砂岩以及第四纪风积沙层和黄土层, 除局部低洼盆地外, 大部分地区缺失第三纪地层, 说明自第三纪以后当地就已经开始隆升了, 现代高原台地和黄土丘陵地貌就是继承古代剥蚀高地的基础上发育起来的, 水土流失和沙漠化发展有着悠久的历史。但是, 随着采矿面积的不断扩大, 塌陷面积的不断增加, 最近几十年来, 风力侵蚀逐步增强并已经成为主要的侵蚀方式^[4]。

就气候条件来说, 主要特征是降水稀少、光照充足、蒸发强劲、地表干燥, 大风频繁, 容易发生风蚀和沙尘暴, 造成土地沙化; 年平均温度 7.3℃, 年均降水量 368.2 mm 蒸发量 1319 mm, 降水变率大, 春季 80% 保证率的降水量仅 12 mm, 干燥度 1.3 以上; 年均风速 3.6 m/s, 最大风速 25 m/s, 起沙风向以西北风和偏北风为主(图 1-2), 年均大风日

*收稿日期: 2006-11-22
基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(200508010608); 神华集团科技项目资助
作者简介: 赵国平(1979-), 男, 青海乐都人, 硕士研究生, 主要从事荒漠化防治研究。
通信作者: 胡春元(1951-), 男, 内蒙古临河人, 教授, 硕士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。

42.2 d,沙暴日 10.7 d;尤其是在春季,不仅干旱少雨、地表干燥,而且大风最为频繁,月均风速 4~ 5 m/s,最高风速可高达 20~ 25 m/s 以上。

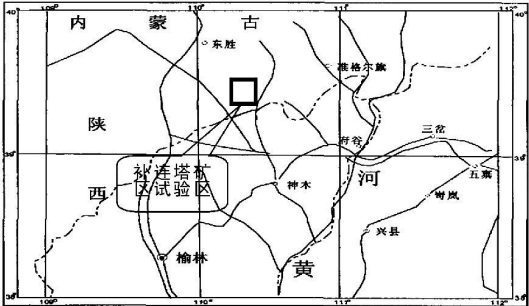
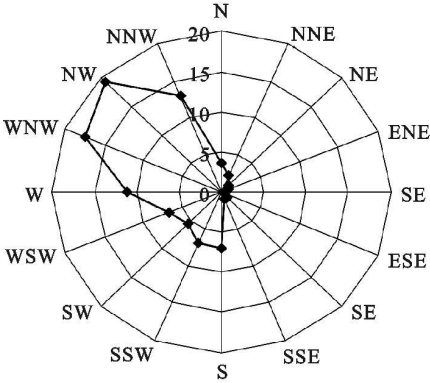


图 1 研究区地理位置



2 神东地区 ≥5 m/s 起沙风向频率玫瑰

2 研究内容与方法

2.1 不同塌陷年限区域风沙蚀积量测定

野外观测时,在三大样地内(WT 非塌陷区、T2005 年塌陷区、T2004 年塌陷区)选择植被覆盖率约为 10% 左右的 3 个简单线性单体沙丘,然后在不同塌陷年限的试验样地内选择 8~ 10 个不同位置的典型位置,如①迎风坡坡角;②坡中;③迎风坡坡上 2/3 处;④丘顶;⑤背风坡坡上 2/3;⑥背风坡坡中;⑦背风坡坡角等,采用标杆定点观测法测定样地内蚀积量变化。具体方法如下:首先测出原地貌的相对高程,标杆(钢条)上刻上刻度(cm),前一次测值减去后一次余量,如果差为负数,表示风蚀,正数表示堆积。

2.2 不同塌陷强度区域风沙蚀积量测定

依靠野外定点观测,选择植被覆盖率为 10% 左右的不同地貌类型的塌陷强度,首先排除植被盖度对风沙运动影响因子,然后在塌陷区内选择塌陷强度为 50%, 35%, 20%, 10%, 0% (非塌陷地)地貌类型大致相似的 5 大样地作为试验点,用标杆法测定其区域风沙蚀积量,每个试验点设标杆 18~ 22 个,设置标杆时主要观测塌陷断面前沿、塌陷梯形平面、塌陷后沿等风蚀沙埋量,测定其单体沙丘区域风沙蚀积量,布设点如图 2 所示。

2.3 塌陷强度和蚀积强度的分级标准

根据补连塔矿采煤工作面推进的特点,每个工作面长 3 km,宽 0.3 km,由西南向东北推进,结合地表塌陷后再塑地貌的特征,塌陷区地表结构破坏程度用塌陷强度(SSI)表示。

SSI = A_D/A_0 (1)

式中: A_D——塌陷裂缝条数; A_0——塌陷区样点每隔 100 m 长度。

蚀积强度 ECI 用塌陷蚀平衡值 ω 表示,测定标杆风蚀沙埋量后,通过 SPSS 13.0 和 EXECL 2003 软件处理,用下式计算区域风沙蚀积平衡值 ω 分量(ω_1, ω_2, ..., ω_3)和区域风沙蚀积平衡值总量 ω 总量:

ω_蚀积平衡值分量 = ∑_{i=1}^{10} E_i (2)

ω_蚀积平衡值总量 = ∑_{i=1}^5 ω_分量 (3)

式中: ω_分量——区域风沙蚀积平衡值分量; E_i——不同位置风蚀沙埋量观测值(测点位置如图 3 所示); ω_总量——区域风沙蚀积平衡值总量。

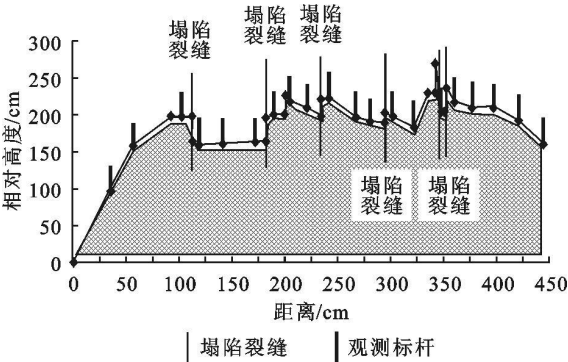


图 3 T 塌陷区区域风沙蚀积量观测布设

表 1 补连塔矿区风沙区塌陷强度级划分

参 数	5	4	3	2	1	0
塌陷强度	极强度	高强度	中强度	低强度	轻度	无
SSI/%	SSI ≥50	50> SSI ≥35	35> SSI ≥20	20> SSI ≥10	SSI ≤10	SSI= 0

表 2 补连塔矿风沙区蚀积强度级划分

参 数	5	4	3	2	1	0
风蚀态	极强度	高强度	中强度	低强度	轻度	无
E//cm	ω ≤- 60	- 30> ω ≥- 60	- 10> ω ≥- 30	- 5> ω ≥- 10	ω ≤- 5	ω = 0
堆积态	极强度	高强度	中强度	低强度	轻强度	无
C//cm	ω ≥60	60> ω ≥30	30> ω ≥10	+ 10> ω ≥+ 5	ω ≤+ 5	ω = 0

根据计算出的地表破坏率和蚀积平衡值划分出塌陷区 地表破坏强度级和蚀积强度如下表 1, 2 所示。

3 结果与分析

3.1 不同塌陷年限区域风沙蚀积量和蚀积强度相关分析

根据表 2 蚀积强度分级标准和表 3~ 5 所示, T2004 年塌陷区不同观测时间(冬、春、夏、季)区域蚀积强度分别为轻度 1(*CI*)、高强度 4(*EI*)、低强度 2(*EI*)和轻度 1(*EI*)强度级,其总区域风沙蚀积强度为高强度 4(*EI*); 同样条件下

表 3 T2004 年塌陷区蚀积强度(*ECI*)与起沙风速百分比

观测时间	2005 年 12 月	2006 年 4 月	2006 年 7 月	2006 年 9 月	ω 总量
蚀积平衡值 ω 分量	+ 1. 6	- 34. 3	- 8. 1	- 4. 6	- 45. 4
蚀积强度级	1(<i>CI</i>)	4(<i>EI</i>)	2(<i>EI</i>)	1(<i>EI</i>)	4(<i>EI</i>)
起沙风速(≥ 5 m/s) 百分比/ %	20. 30	37. 0	22. 90	19. 10	-
季 节	冬	春	夏	秋	-

注: *CI*. 堆积态蚀积强度; *EI*. 风蚀态蚀积强度, 下表同。

表 4 T2005 年塌陷区蚀积强度(*ECI*)与起沙风速百分比关系

观测时间	2005 年 12 月	2006 年 4 月	2006 年 7 月	2006 年 9 月	ω 总量
蚀积平衡值 ω 分量	+ 0. 4	- 54. 5	- 18. 9	- 12. 1	- 85. 1
蚀积强度级	1(<i>CI</i>)	4(<i>EI</i>)	3(<i>EI</i>)	2(<i>EI</i>)	5(<i>EI</i>)
起沙风速(≥ 5 m/s) 百分比/ %	20. 30	37. 0	22. 90	19. 10	-
季 节	冬	春	夏	秋	-

表 5 WT 非塌陷区蚀积强度(*ECI*)与起沙风速百分比关系

观测时间	2005 年 12 月	2006 年 4 月	2006 年 7 月	2006 年 9 月	ω 总量
蚀积平衡值 ω 分量	+ 3. 5	- 12. 4	- 2. 6	+ 4	- 2. 3
蚀积强度级	1(<i>CI</i>)	3(<i>EI</i>)	1(<i>CI</i>)	1(<i>CI</i>)	1(<i>EI</i>)
起沙风速(≥ 5 m/s) 百分比/ %	20. 30	37. 0	22. 90	19. 10	-
季 节	冬	春	夏	秋	-

据以上分析可知, 不同塌陷年限塌陷区区域风沙蚀积量的蚀积强度有所不同, 经进一步分析, 不同塌陷年限区域蚀积量与起沙风速频率有很大关系, 而区域风沙蚀积量与蚀积强度又息息相关, 经计算得出: 神东矿区春、夏、秋、冬四季起沙风速(≥ 5 m/s) 频率分别为 37. 0%, 22. 90%, 19. 10%, 20. 30%, 与四季的变化呈多项式函数变化, 而区域风沙蚀积

T2005 年塌陷区区域蚀积强度分别为轻度 1(*CI*)、高强度 4(*EI*)、中强度 3(*EI*)和低强度 2(*EI*)强度级, 其总区域风沙蚀积强度为极高强度 5(*EI*), 可见塌陷 1 年比塌陷两年塌陷区有更强的蚀积强度, 其总分级强度高出 1 个强度级; 而 WT 非塌陷区区域蚀积强度除了春季(2006 年 4 月) 蚀积强度为中强度 3(*EI*)外, 其余的都为轻度 1(*EI*)。

强度与四季变化也呈现出一定的相关性, T2004 年塌陷区为多项式函数、T2005 年为线性函数、WT 为多项式函数, 这说明随着起沙风频率的不断变化, 区域风沙蚀积强度与起沙风速频率呈正相关负增长, 也就是说, 随着春夏秋冬的变化区域风沙蚀积强度随着起沙风速频率的减小而减小(图 4~ 6)。

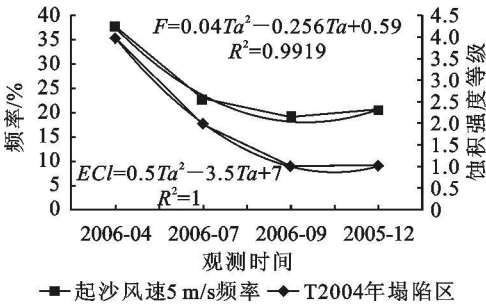


图 4 T2004 年塌陷区蚀积强度与起沙风速频率变化趋势线

据分析, 不同塌陷年限塌陷区随着塌陷时间尺度的拉长, 与区域蚀积强度呈线性关系, 如图 7 所示, 随着塌陷时间的延长其区域蚀积强度从极高强度变为高强度, 慢慢趋向于蚀积平衡点。

3.2 不同塌陷强度区域风沙蚀积量和蚀积强度相关性分析

据以上分析可知, 不同塌陷强度区域风沙蚀积量和蚀积强度由于受塌陷断裂面的影响, 其区域蚀积平衡值 ω 和蚀积强度程度不同, 如表 6 所示。随着塌陷强度的减小其蚀积平衡值 ω 逐渐从堆积态转变为风蚀态, 蚀积状态的变化势必直接或间接影响区域风沙蚀积量的多少, 根据表 2 分级标准,

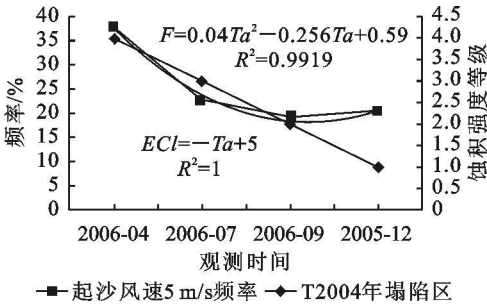


图 5 T2005 年塌陷区蚀积强度与起沙风速频率变化趋势

当塌陷强度为 50% 和 35% 时, 蚀积强度都为堆积态高强度 4(*CI*), 20% 时蚀积强度虽然也为高强度 4, 但其蚀积状态为风蚀态(*EI*), 这说明当塌陷强度减小为某一定值时, 其蚀积状态就会发生改变。10% 时为轻度 2(*EI*), 0% 时为 1(*EI*), 后 3 种塌陷强度都为风蚀态。

经进一步分析, 拟合出塌陷强度与蚀积强度回归关系为多项式函数, 相关系数为 0. 816 7, 相关性极好, 并作出函数关系图发现, 当塌陷强度为[20%, 40%] 区间内某一点值, 蚀积强度将达到平衡值 0。为了确定临界值, 假设蚀积强度 *ECI* 等于 0, 并计算出塌陷强度 *SSI* 值, *SSI*1= 0. 306 916,

$SSI_2 = -0.1622$, 塌陷强度 SSI 值为负不可能, 故塌陷强度 SSI 为 30.6916% 确定为蚀积临界值。也就是说 $[0, 30.6916\%]$ 区间内, 其区域蚀积过程为风蚀态, 当塌陷强度

在 $[30.6916\%, 100\%]$ 区间内, 其区域风沙蚀积过程为堆积态(图 8)。

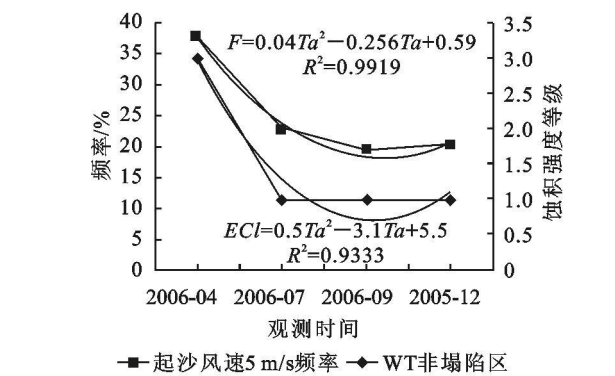


图 6 WT 非塌陷区蚀积强度与起沙风速频率变化趋势线

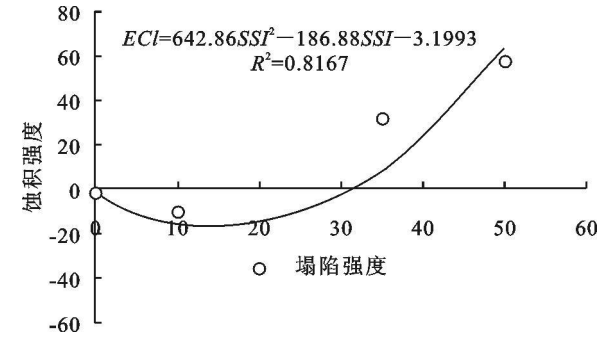


图 8 不同塌陷强度与蚀积强度变化趋势

表 6 植被盖度为 10% 时不同塌陷强度区域风沙蚀积量和蚀积强度变化

观测时间	塌陷强度				
	50%	35%	20%	10%	0%
2005-08-26	+ 13.4	+ 2.4	- 17.8	+ 2.7	+ 4.7
2006-04-29	- 3	+ 0.8	- 19.6	- 1.9	- 7
2006-07-12	+ 21.9	+ 7.1	- 6.6	- 7.6	+ 14
2006-09-09	+ 24.5	+ 20.3	+ 7.4	- 2.9	+ 18.2
蚀积平衡值 ω	+ 57.3	+ 30.6	- 36.6	- 9.7	- 0.9
蚀积强度分级	4(CI)	4(CI)	4(EI)	2(EI)	1(EI)

4 结 论

通过对不同塌陷年限和不同塌陷强度单体沙丘风沙蚀积量和蚀积强度的计算和分析, 得出以下结论: ①随着起沙风频率的不断变化, 区域风沙蚀积强度与起沙风速频率呈正相关负增长, T2004 年塌陷区为多项式函数、T2005 年为线性函数、WT 为多项式函数, 这说明区域风沙蚀积强度与四季变化也呈现出一定的相关性, 表现为区域风沙蚀积强度随着起沙风速频率的减小而减小; ②不同塌陷年限塌陷区随着塌陷时间的延长, 区域蚀积强度与时间呈线性关系, 即, 随着时间的延长其区域蚀积强度从极高强度变为低强度, 慢慢趋向于蚀积平衡点; ③塌陷强度与蚀积强度回归关系为多项式函数, 在 $[0, 30.6916\%]$ 区间内, 其区域蚀积过程为风蚀态, 当塌陷强度在 $[30\%, 100\%]$ 区间内, 其区域风沙蚀积过程为

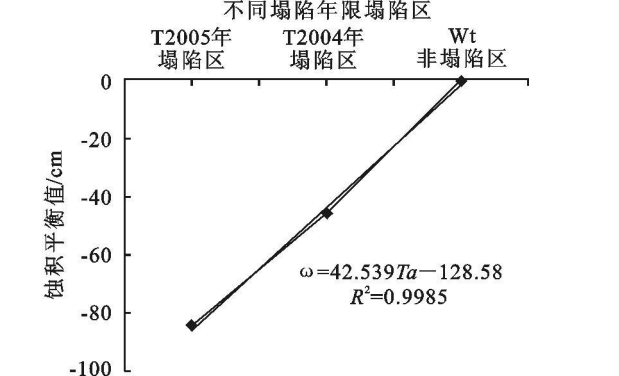


图 7 不同塌陷年限塌陷区与蚀积平衡值变化趋势线

堆积态, 30.6916% 为蚀积临界值。

参考文献:

[1] 高学田, 唐克丽. 神府—东胜矿区风蚀水蚀交互作用研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 4(3): 2– 7.

[2] 柳林旺, 王颀成, 刘保红. 神府东胜矿区的沙漠化及其防治[J]. 水土保持研究, 1998, 5(4): 6– 77.

[3] 李锐, 唐克丽. 神府—东胜矿区一、二期工程环境效应考察[J]. 水土保持研究, 1994, 1(4): 5– 17.

[4] 张平仓, 王文龙, 唐克丽, 等. 神府—东胜矿区采煤塌陷及其对环境影响初探[J]. 水土保持研究, 1994, 1(4): 35– 44.

[5] 王训明, 董治宝, 武生智, 等. 土壤风蚀过程的一类随机模型[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 19– 22.

[6] 董治宝. 系统的研究, 实践的总结, 评《实验风沙物理与风沙工程学》[J]. 中国沙漠, 1999, 19(3): 93– 96.

[7] 张春来, 董光荣, 董治宝, 等. 用风洞实验方法计算土壤风蚀量的时距问题[J]. 中国沙漠, 1996, 16(2): 200– 203.

[8] 董飞, 刘大有, 贺大良. 风沙运动的研究进展和发展趋势[J]. 力学进展, 1995, 8(25): 368– 382.

[9] 陈东, 曹文洪, 傅玲燕, 等. 风沙运动规律的初步研究[J]. 泥沙研究, 1999(6): 84– 89.

[10] 孙显科. 风沙运动理论体系的创建与研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 129– 135.

[11] 董玉祥. 海岸风沙运动观测与模拟的研究与进展[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 60– 66.

[12] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵, 等. 非均匀下垫面边界层的观测和数值模拟研究(II): 逆湿现象的数值模拟研究[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 163– 170.

[13] 屈建军, 黄宁, 拓万全, 等. 戈壁风沙流结构特性及其意义[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 19– 23.

[14] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.